



TITLE:

<産業界の技術動向>照明器具におけるLED化とそれに伴う高度化への取り組み

AUTHOR(S):

竹之内, 光彦

CITATION:

竹之内, 光彦. <産業界の技術動向>照明器具におけるLED化とそれに伴う高度化への取り組み. Cue 2017, 38: 8-14

ISSUE DATE:

2017-09

URL:

<https://doi.org/10.14989/227452>

RIGHT:

産業界の技術動向

照明器具における LED 化と それに伴う高度化への取り組み

星和電機株式会社

竹之内 光 彦

1. はじめに

照明として用いられる光源は、誕生当時から現在に至るまで4世代に分類される。

第一世代は、「炎」であり明るさだけでなく料理や陶芸などあらゆる用途に使用されているが、照明としては非常に原始的であると言える。

第二世代は、「電球」であり一般的には白熱ランプと言われるもので、照明器具に使用された初期の人工光源である。

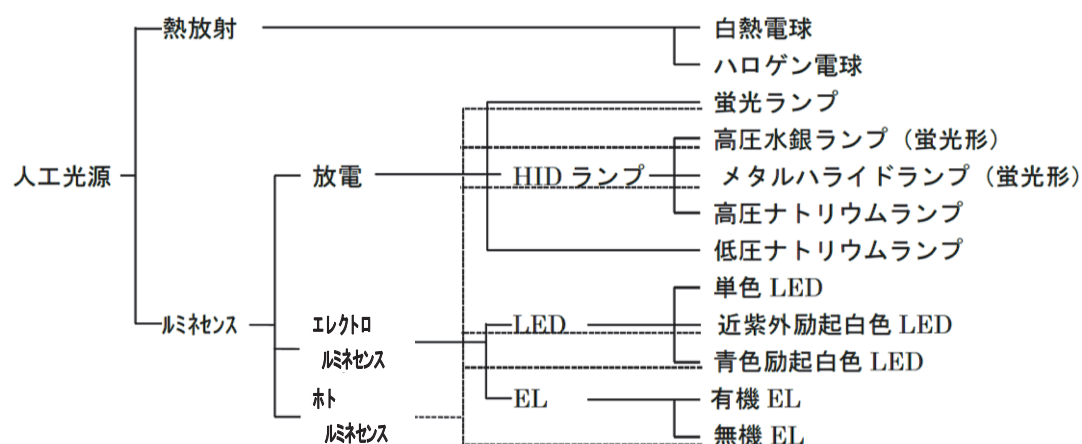
第三世代は、「放電灯」であり一般的には蛍光灯や高輝度放電ランプ（水銀ランプや高圧ナトリウムランプなど）と言われるもので、白熱ランプと比較して発光効率（1ワット当たりの明るさ）や寿命および明るさの出力が飛躍的に向上した少し以前では主流で使用されていた人工光源である。

第四世代は、「LED（Light Emitting Diode、発光ダイオード）」であり近年実用化されてきた半導体による固体光源（SSL：Solid State Lighting）で、第二・三世代の光源の特徴をさらに向上できる性能を持った人工光源である。

20世紀の終盤に青色LEDの生産が活発になり、赤色、緑色LEDとともに光の三原色が整いLEDでの白色化の実現が可能になった。それによりLEDは、照明用光源への適用が現実味を帯びることになり現在に至るまで各種性能の改良が継続的に行われ、照明用光源として確立された。ここでは、LEDを光源とした照明器具の高度化について述べたいと思う。

2. 照明用光源の特徴と変遷

照明器具に使用される人工光源（以下、光源という）は、白熱電球のように熱放射を利用した光源と



※ホトルミネセンスは、これのみではランプとまらないため破線で示している

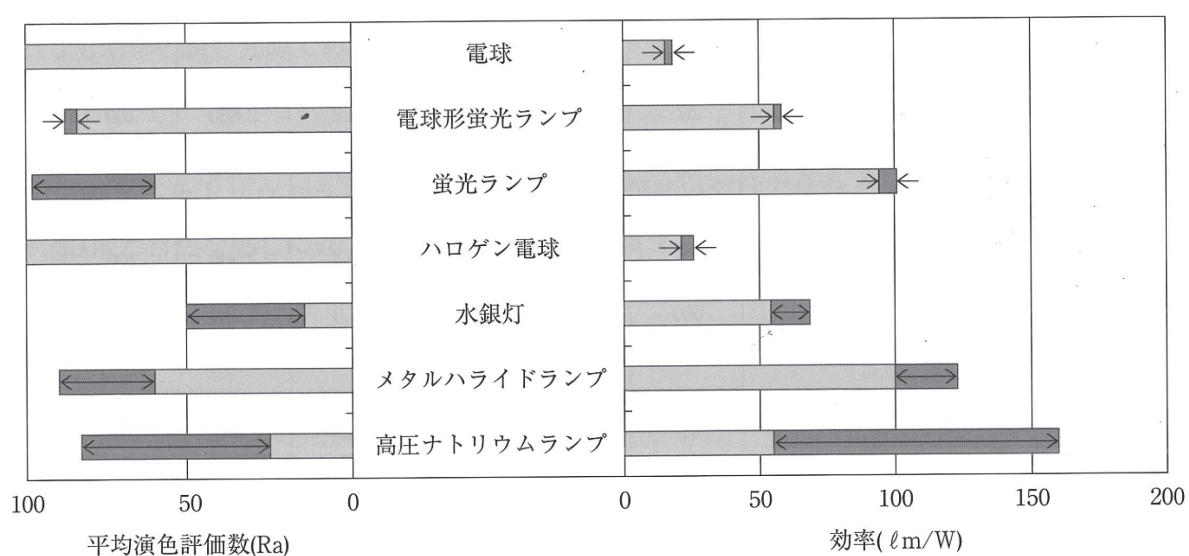
図1 主な人工光源の種類【1】

放電ランプやLEDのようにルミネセンスを利用した光源に大別され、ルミネセンスを利用した光源はさらに放電、エレクトロルミネセンスとホトルミネセンスを利用した光源に分けられ、それぞれ用途に合わせて大きさ、明るさ、光の色などが異なるものがある。図1に主な人工光源の種類を示す。

これらの人工光源はいずれも電気エネルギーを光に変換するものであるが、各々特徴があり性能も違う。LEDを除く既存光源の原理と構造を表1に、効率と演色評価数を図2に示す。

表1 光源の原理と構造

種類		発光原理	構造・材料
白熱電球		・熱放射	発光体：フィラメント ガラス球：軟質ガラス 封入ガス：アルゴン他
ハロゲン電球		加熱したタングステンフィラメントの発光	発光体：フィラメント ガラス球：石英ガラス 封入ガス：ハロゲン、アルゴン
蛍光ランプ		・低圧放電 水銀からの紫外放射を蛍光体で可視光に変換	主な発光体：水銀→蛍光体 ガラス管：軟質ガラス 封入ガス：アルゴン他
HID ランプ	高圧水銀ランプ	・高圧放電 封入金属の発光	主な発光体：金属原子 発光管：石英ガラス アルミナ管 外管：硬質ガラス
	メタルハライドランプ		
	高圧ナトリウムランプ		
低圧ナトリウムランプ		・低圧放電 封入金属の発光	主な発光体：金属原子 発光管：耐ナトリウムガラス 外管：赤外線反射幕ガラス



※仕様によって値が異なるものはその範囲を |<=>| で示した

図2 光源の効率と平均演色評価数

図1に示した光源の中で近年新たにLED (Light Emitting Diode) が加わった。そのLEDの特性は、3項で記載するとして、LEDを含めた光源の変遷を図3に示すが、ガス灯から始まり白熱灯(ランプ)、放電灯(蛍光ランプ)といった新光源の出現は、大凡60年間隔であることが判り、LEDは固体照明(SSL: Solid State Lighting)として全ての性能を含めて既存光源に取って代ろうとしている。

3. LEDの特性

LEDは、電流を流すことで光を発生する半導体素子であり、世界的な地球環境問題に対する意識の高まりとともに、LED照明に関する省エネルギー光源としてその需要は急速に拡大してきている。

(1) 発光方式

LEDの発光色は純度の高い光色であるが、一般照明用としては白色光が必要となる。そこで単色LEDの光を混合して白色の光を作ることとなる。LEDを発光色によって分類すると、図4に示すとおり、従来から表示用などに使われている赤色、橙色、黄色、緑色、青色などの単色LEDと混色した白色LEDの方式に分類され、照明用光源として使用されているほとんどは後者の混色した白色LEDの方式で、さらにそのほとんどが青色LED+黄色蛍光体によるものであり、その代表的な分光分布を図5に示す。

(2) 効率

LEDの効率はその技術開発により年々上昇しており、LED照明の普及促進を目指して2020年頃までのLED発光効率のロードマップが公表され、図6、図7のような一般照明用白色LED(チップベース)の発光効率の推移を示している。なお、図6は2008年時点でのロードマップ予想であるが、その発光効率の向上が予想以上に早く2015年時点でそのロードマップを更に修正したものが図7となり、さらに図8に光源の効率と推移を示すが、その技術発展は目を見張るものがある。

(3) LEDの寿命

LEDは従来の光源のように断線やフィラメントの摩耗によって寿命となることはほとんどないが、使用材料の劣化によって光束が減衰していく。従来光源である蛍光ランプの場合、初期光束の70%に低下

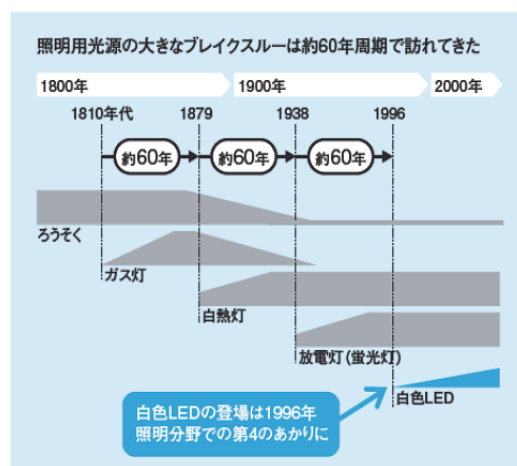


図3 光源の歴史

方式	備考
(短波長LED+蛍光体) 励起方式 青色LED + 黄色蛍光体 青色LED 黄色蛍光体 青色LED	●現在の主流方式 ●蛍光体の塗布量等により色バラツキが目立ちやすい ●演色性の改善形も出始めている
紫色(近紫外)LED + RGB蛍光体 紫色(近紫外)LED R G B 紫色(近紫外)LED	●高演色性が最大のメリット ●赤色蛍光体の効率が悪く、実用化されているものの効率は「青色LED+黄色蛍光体」方式より劣る ●寿命の改善が課題
(三原色補色) 混光方式 R・G・B3色LEDの混光 R G B 補色となる2色のLEDの混光 (例) 青緑色LED 赤色LED	●各色LEDのバラツキ抑制が必要(白色にした場合の色バラツキが目立ちやすい) ●LEDの色によって点灯電圧が異なるため、回路構成が複雑になる

図4 白色LEDの発光方式

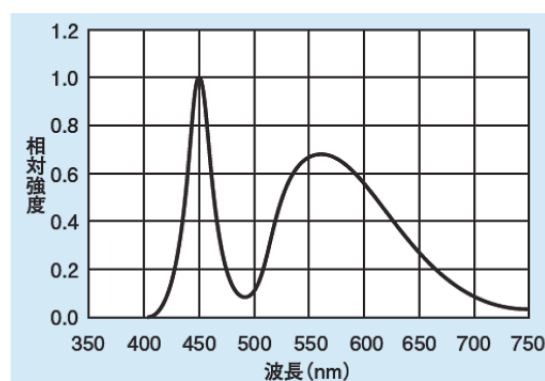


図5 青色LED+黄色蛍光体の分光分布の一例

した時点をも寿命としているが、LED においても同様の定義が一般的に用いられている。図 9 に白熱電球、蛍光灯、LED の点灯時間と光束維持率の関係を示す。実際の LED の寿命は放熱条件により大きく異なり、古典的な砲弾型白色 LED では定格電流で点灯した場合に 10,000 時間程度であるが、セラミック容器に耐久性の優れたシリコン樹脂で封印された素子の場合、40,000 時間以上さらにそれ以上の寿命が得られる。

(4) LED と熱

LED は赤外線をほとんど含まないため、熱の発生しない光源のように捉えられることが多いが、実際には光に変換されなかったエネルギーは熱となる。図 10 に LED に供給された電力のエネルギー配分を示すが、これは、青色 LED + 黄色蛍光体の白色発光（効率 100lm/W）を例にしており、電気的入力に対して光として利用できるのは約 30%で、残りの約 70%が損失となり熱を発生させていることが分かる。

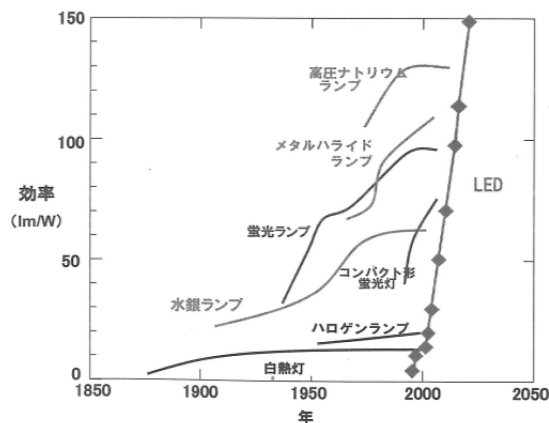


図8 光源の効率と推移【1】

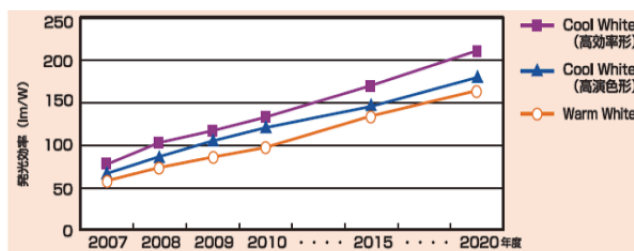


図6 2008年時点の白色LED発光効率のロードマップ【2】

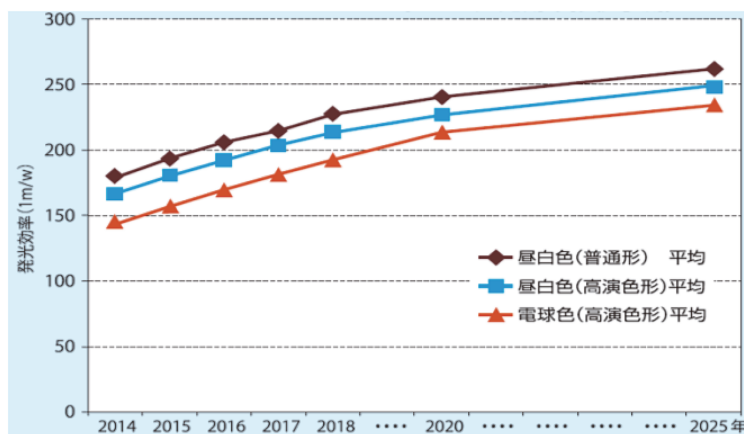


図7 2015年時点の白色LED発光効率のロードマップ【3】

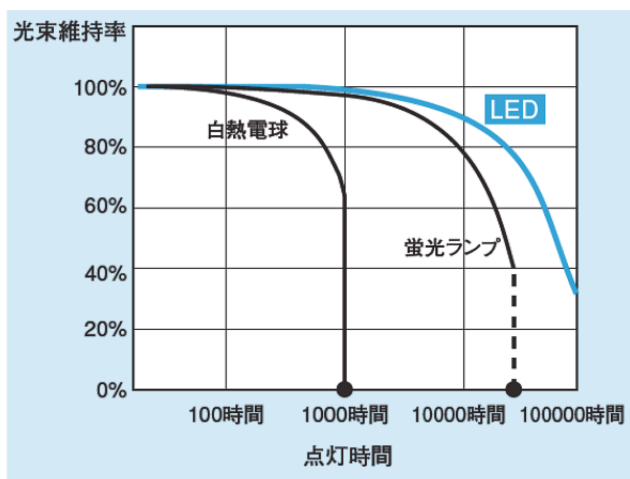


図9 光源と光束維持率の一例【1】

4. 照明器具の高度化

(1) 高効率化

照明器具の主目的は、1) 光源から出た光を適切に制御し目的に合った放射分布（配光）を得る、2) 光源にエネルギーを供給し光源を正しく動作させる、3) 装飾的な効果を発揮する、の3つの項目が考えられる。ここでは、機能的な目的である前二者について表2に照明器具の機能的要件を示す。

照明器具の機能的要件は、表2に示したとおりであるが、それぞれの機能的要件を満たすための使用部材の効率ロスを考えた場合、光源部単体の発光効率を仮に100とした場合に最少で40%、最大で80%のロスが生じる事となり、実際の発光効率（以下、効率という）は20～60%程度となる。そこで、その効率を上げるための施策として、a) 照明率を上げる（必要な場所に最大限照射して漏れ光を出さない）、b) 電源効率のロスを回路の最適化やLED負荷の最適化で極力無くす、c) 器具の放熱設計を十分考慮することでLEDの発熱を抑える、d) 透光部の透過率を極力抑えると同時に器具内での反射ロスを抑える、等の対策を講じる事で大きく効率を上昇させることができ、省エネルギー効果を大きく実現できる。

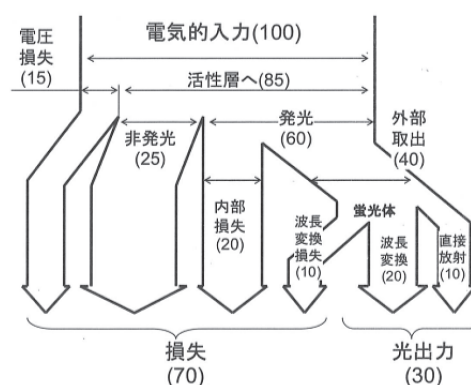


図10 LEDのエネルギーバランス【1】

表2 照明器具の機能的要件

	部位	部品名	材料等	ロスの要因	効率のロス(%)
光学	反射	反射板	樹脂	透過率、変色、照明率	～5
	屈折	レンズ	アルミニウム等	反射率、照明率	
構造	電氣的部品	電源装置	AC/DC 定電流	電源変換、	10～30
				高出力化	10～20
	機械的部品	LED	SMD、COB等	熱ダレ	10～20
		器具	鋼材、アルミニウム	内部反射	～5
		透光部	ガラス、樹脂	透過率、変色	

(2) 視認性の改良

(1) で記載した省エネルギーを追求し高効率化を実現した場合に、今までの光源にない“まぶしさ（以下、グレアという）”という大きな問題が出現してきた。すなわち、高効率化を実現するために、①ロスを極力低く透過率を最大限にするため、透明の全面カバー（ガラス等）を利用し直接LED光を取り出した、②照明率（対象照射面に器具からの放射光束が入射する率）を高くするためにレンズや反射板で集光するため放射されるある角度の光度が極めて高くなった、③照明率を高くするために漏れ光が小さくなり空間の明るさが小さくなった、ことなどが重なり人の視点や視線がある位置になった時に不快なグレアを感じる現象が頻繁に表れてきた。そこで、ある角度に突出した光度分布にならないような配光制御を検討し、逆に透過率は低くなるものの一様な光度分布になるような拡散透光カバー等を開発しグレアの出現を抑さえる事に成功した。

(3) 多機能化

光源がLEDになった事により既存光源にない反応速度やその利便性により、飛躍的に多機能化が実現しやすくなった。多機能については、照明制御や情報提供と言った分野を照明器具をとおして実現することができ、表3にその多機能化への進展について示す。

表3 多機能化への進展

光源のLED化	“明るさ”、“色”を自在にコントロール可能	
世の中のIT / IoT化	通信／ネットワーク対応	あらゆる機器との連携
	各種センシングデータ収集	あらゆるデータの蓄積・解析
	リアルタイム制御、モニタリング、自動制御、フィードバック制御	
次世代照明システム	照明制御：省電力、管理の省力化、快適性・安全性の向上、設備の省力化	
	情報提供：安全性の向上、秘匿性の向上、設備の省力化	

表3にある次世代照明システムのうち照明制御に関わるその利用シーンは、下記のとおりである。

a) 省エネ・最適化のための照明制御

- ① 個別またはグループ（エリア）単位での制御
- ② 各種センサ（人感／照度）や、他設備・機器との連動制御
- ③ 日時や活動サイクル等に合わせたスケジュール制御
- ④ イベントや設定シーンに合わせた制御
- ⑤ 遠隔からのリモート制御
- ⑥ アクチュエータ等の利用により照射位置や配光特性の制御も可能

b) 監視・モニタリング

- ① 消費電力や灯具状態（稼働状況等）をリアルタイムに見える化
- ② 故障検知

c) メンテナンス

- ① 調光レベルなど各種の設定変更・調整
- ② 設置現場での動作確認・調整
- ③ 灯具内の制御プログラムのアップデート

これらをもとに、制御の構成イメージを図11に、さらに当社の多機能化への技術ロードマップの概要を表4に示す。

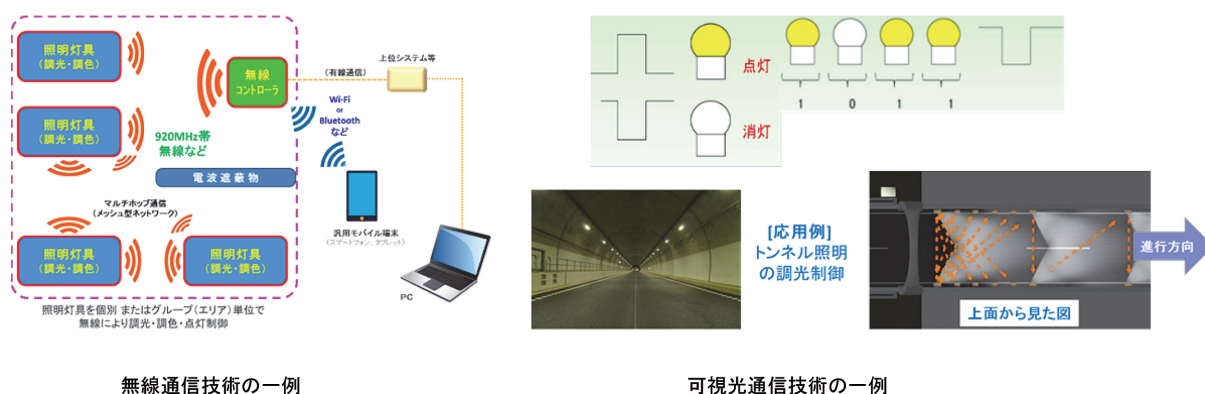


図11 照明制御の構成イメージ

表 4 技術ロードマップ

現在	～1・2年後	数年後
可視光通信技術 →トンネル照明の制御 無線通信技術 →照明制御の無線化 (スマホ操作)	システム化技術 →上位システム連携 →外部設備連携 (センサ、カメラ等)	総合システム化技術 →FEMS 対応 →スマート化対応

図 11 にあるとおり、多機能化の大部分を占める照明制御は、従来の有線から無線へ、さらには各種センサ機能や情報提供端末へと今までの単なる照明という単機能から多機能へ大きく変貌していく。

5. おわりに

LED 照明器具の高度化は、LED の持つ特徴を最大限に引き出した光学・構造・電気的要素を集約した照明器具と、IoT の進化に伴った通信の多機能化を取り入れたシステムとの融合により大きく飛躍していくものと考えられる。

しかし、現段階はまだ発展途上であり各製造メーカーが独自路線で提案しているのが実際であり、システムを含めた通信方式等の標準化が早急に望まれる。

参考文献

- 【1】 新編 照明基礎講座テキスト 第 36 期, 照明学会, 2015
- 【2】 LED ロードマップ 2008, LED 照明推進協議会, 2008
- 【3】 LED ロードマップ 2015 改訂, LED 照明推進協議会, 2015